

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-334504

(43) 公開日 平成10年(1998)12月18日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

G 1 1 B 7/135  
7/20

G 1 1 B 7/135  
7/20

Z

審査請求 有 請求項の数35 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願平9-140129

(22) 出願日 平成9年(1997)5月29日

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 片山 龍一

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

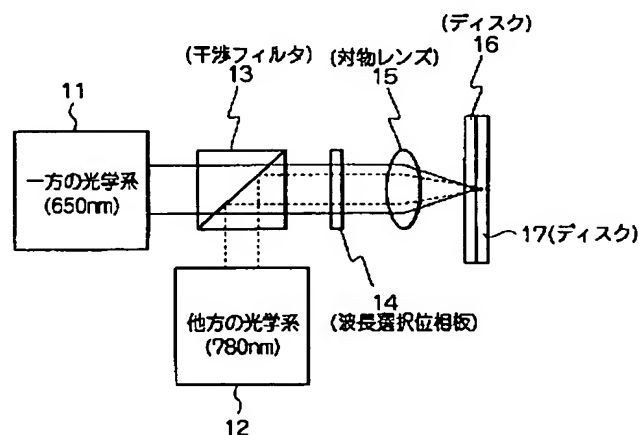
(74) 代理人 弁理士 高橋 勇

(54) 【発明の名称】 光ヘッド装置

(57) 【要約】

【課題】 基板厚さが異なる二種類のディスクを再生でき且つ再生時には良好なS/Nおよびジッタが得られ、且つ記録時には十分な先出力およびピーク強度が得られるようにした光ヘッド装置を提供すること。

【解決手段】 異なった波長のレーザ光を出力し受光する一方の光学系11と他方の光学系12とを備え、各光学系の半導体レーザ11Aからの出射光を合波し且つ光記録媒体16(又は17)からの反射光を分波して何れか一方の光検出器に導く光合分波手段(干渉フィルタ)13を装備する。この干渉フィルタ13と対物レンズ15の間に、第1、第2の半導体レーザ11Aからの一方と他方の波長の内の他方の波長に対して位相分布を変化させる性質の波長選択位相板を介装する。これによって前述した目的に達成を図るようにした。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 所定の波長で発振する第 1 の半導体レーザと当該波長のレーザ光を受光する第 1 の光検出器とを有する一方の光学系と、この一方の光学系の半導体レーザとは異なった所定の波長で発振する第 2 の半導体レーザと当該波長のレーザ光を受光する第 2 の光検出器とを有する他方の光学系とを備え、

前記第 1 および第 2 の半導体レーザからの出射光を合波し且つ所定の厚さを有する所定の光記録媒体にそれぞれ導くと共に、当該光記録媒体からの反射光を分波して前記第 1 の光検出器又は第 2 の光検出器にそれぞれ導く光合分波手段を装備し、

この光合分波手段と前記所定の光記録媒体との間に設けられた対物レンズを有する光ヘッド装置であって、前記光合分波手段と前記対物レンズの間に、前記第 1 および第 2 の半導体レーザからの波長の光の一方の波長に対しては位相分布をほとんど変化させず、他方の波長に対しては位相分布を変化させる性質の波長選択位相板を介装し、

前記第 1 の半導体レーザからの出射光を利用して所定の光記録媒体に対して記録若しくは再生を行うと共に、前記第 2 の半導体レーザからの出射光を利用して他の所定の光記録媒体に対し記録若しくは再生を行うことを特徴とした光ヘッド装置。

【請求項 2】 前記対物レンズは、前記一方の光学系から出力される所定の波長に対し、前記対物レンズからの出射光が対応する前記所定の厚さの基板を透過する際に生じる球面収差を打ち消す球面収差を有すると共に、前記波長選択位相板が、前記一方の光学系から出力される所定の波長のレーザ光に対しては位相分布をほとんど変化させず、前記他方の光学系から出力される所定の波長のレーザ光に対しては位相分布を変化させる特性を備えていることを特徴とした請求項 1 記載の光ヘッド装置。

【請求項 3】 前記対物レンズは、内周部では前記他方の光学系から出力される所定の波長に対し、前記対物レンズからの出射光が当該他方の光学系に対応する前記所定の厚さの基板を透過する際に生じる球面収差を打ち消す球面収差を有し、外周部では前記一方の光学系から出力される所定の波長に対し、前記対物レンズからの出射光が当該一方の光学系に対応する前記所定の厚さの基板を透過する際に生じる球面収差を打ち消す球面収差を有すると共に、

前記波長選択位相板が、前記他方の光学系から出力される所定の波長の光に対しては位相分布をほとんど変化させず、前記一方の光学系から出力される所定の波長の光に対しては位相分布を変化させることを特徴とする請求項 1 記載の光ヘッド装置。

【請求項 4】 前記一方の光学系から出力される所定の波長を、650 [nm] の近傍に設定し、前記他方の光

学系から出力される所定の波長を、780 [nm] の近傍に設定したことを特徴とする請求項 1, 2 又は 3 記載の光ヘッド装置。

【請求項 5】 前記一方の光学系から出力されるレーザ光は、厚さ 0.6 [mm] 程度の光記録媒体を対象とすると共に、前記他方の光学系から出力されるレーザ光は、厚さが 1.2 [mm] 程度の光記録媒体を対象としていることを特徴とした請求項 1, 2, 3 又は 4 記載の光ヘッド装置。

10 【請求項 6】 前記第 1 および第 2 の半導体レーザからの出射光は、前記対物レンズに対しては平行光として入射することを特徴とした請求項 1 記載の光ヘッド装置。

【請求項 7】 前記波長選択位相板は、基板上に同心円状の位相板パターンおよび干渉フィルタパターンが形成された構成であることを特徴とした請求項 1 記載の光ヘッド装置。

【請求項 8】 前記位相板パターンは、前記対物レンズの有効径より小さい直径の円形領域内のみ形成されていることを特徴とした請求項 7 記載の光ヘッド装置。

20 【請求項 9】 前記位相板パターンの断面は、2 レベルの矩形状であることを特徴とする請求項 7 記載の光ヘッド装置。

【請求項 10】 前記位相板パターンの断面は 3 レベル以上の階段状であることを特徴とする請求項 7 記載の光ヘッド装置。

【請求項 11】 前記位相板パターンのある部分とない部分を通る光の位相差は、前記第 1 又は第 2 の半導体レーザからの出射光の波長に対して  $2\pi$  の整数倍であることを特徴とする請求項 9 記載の光ヘッド装置。

30 【請求項 12】 前記位相板パターンの隣接する二つの段の高い方と低い方を通る光の位相差は、前記第 1 又は第 2 の半導体レーザからの出射光の波長に対して  $2\pi$  の整数倍であることを特徴とする請求項 10 記載の光ヘッド装置。

【請求項 13】 前記干渉フィルタパターンは、前記円形領域外にのみ形成されていることを特徴とする請求項 7 記載の光ヘッド装置。

40 【請求項 14】 前記干渉フィルタパターンは、前記一方の光学系から出力される波長の光を全て透過させると共に、前記他方の光学系から出力される波長の光を全て反射させる特性を有し、前記一方の光学系から出力される波長に対しては、前記円形領域内を通る光と前記円形領域外を通る光の位相差を  $2\pi$  の整数倍に調整することを特徴とした請求項 13 記載の光ヘッド装置。

【請求項 15】 前記波長選択位相板は、前記対物レンズと共にアクチュエータによりフォーカシング方向およびトラッキング方向に一体駆動されることを特徴とした請求項 1 記載の光ヘッド装置。

50 【請求項 16】 前記波長選択位相板の法線を、前記対物レンズの光軸に対して僅かに傾けることを特徴とする

請求項 1 記載の光ヘッド装置。

【請求項 17】 前記光合分波手段は、前記一方の光学系から出力される波長の光を透過させ、前記他方の光学系から出力される波長の光を反射させる性質の干渉フィルタであることを特徴とした請求項 1 記載の光ヘッド装置。

【請求項 18】 前記位相板ボタンは、ガラス基板上に誘電体膜を堆積させることにより形成されていることを特徴とした請求項 7 記載の光ヘッド装置。

【請求項 19】 前記位相板ボタンは、ガラス基板をエッチングすることにより形成されていることを特徴とした請求項 7 記載の光ヘッド装置。

【請求項 20】 前記干渉フィルタボタンは、ガラス基板上に誘電体多層膜を堆積させることにより形成されていることを特徴とした請求項 7 記載の光ヘッド装置。

【請求項 21】 前記誘電体多層膜は、1 層目に低屈折率層が、2 層目以降に高屈折率層と低屈折率層とが交互に奇数層積層された構造であることを特徴とした請求項 20 記載の光ヘッド装置。

【請求項 22】 前記位相板ボタンおよび前記干渉フィルタボタンは、同一のガラス基板の同一の面上に形成されていることを特徴とした請求項 7 記載の光ヘッド装置。

【請求項 23】 前記位相板ボタンおよび前記干渉フィルタボタンは、同一のガラス基板の別々の面上に形成されていることを特徴とした請求項 7 記載の光ヘッド装置。

【請求項 24】 前記位相板ボタンおよび前記干渉フィルタボタンは、別々のガラス基板上に形成されていることを特徴とした請求項 7 記載の光ヘッド装置。

【請求項 25】 前記別々のガラス基板の前記位相板ボタンおよび前記干渉フィルタボタンが形成されていない面同志は、接着剤により互いに接着されていることを特徴とした請求項 24 記載の光ヘッド装置。

【請求項 26】 前記ガラス基板の片面又は両面には、反射防止膜が形成されていることを特徴とした請求項 22、23 又は 24 記載の光ヘッド装置。

【請求項 27】 前記位相板ボタンは、ガラス又はプラスチックの成形をもって形成されていることを特徴とした請求項 7 記載の光ヘッド装置。

【請求項 28】 前記位相板ボタン又は前記干渉フィルタボタンは、前記対物レンズ上に一体で形成されていることを特徴とする請求項 7 記載の光ヘッド装置。

【請求項 29】 前記一方の光学系又は他方の光学系は、前記第 1 又は第 2 の半導体レーザからの出射光を平行光化するコリメータレンズを、それぞれ備えていることを特徴とした請求項 1 記載の光ヘッド装置。

【請求項 30】 前記一方又は他方の光学系は、内蔵する前記第 1 又は第 2 の半導体レーザから出射して対応する各光記録媒体に向かう光と、前記第 1 又は第 2 の光記

録媒体で反射されて前記第 1 又は第 2 の光検出器に向かう光とを分離する光分離手段を備えていることを特徴とした請求項 1 記載の光ヘッド装置。

【請求項 31】 前記光分離手段が、ビームスプリッタであることを特徴とした請求項 30 記載の光ヘッド装置。

【請求項 32】 前記光分離手段が、偏光ビームスプリッタであり、この偏光ビームスプリッタと前記対物レンズの間に 1/4 波長板が設けられていることを特徴とした請求項 30 記載の光ヘッド装置。

【請求項 33】 前記第 1 の半導体レーザと前記第 1 の光検出器、又は前記第 2 の半導体レーザと前記第 2 の光検出器は、同一のパッケージに収納されていることを特徴とした請求項 30 記載の光ヘッド装置。

【請求項 34】 前記光分離手段が、ホログラム光学素子であることを特徴とした請求項 33 記載の光ヘッド装置。

【請求項 35】 前記光分離手段が偏光性ホログラム光学素子であり、この偏光性ホログラム光学素子と前記対物レンズの間に 1/4 波長板が設けられていることを特徴とした請求項 33 記載の光ヘッド装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光ヘッド装置に係り、とくに基板厚さが異なる二種類の光記録媒体に対して記録や再生を行うための光ヘッド装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】現在製品化が進められているデジタルビデオディスク (DVD) は、基板厚さが 0.6 [mm] である。一方、従来のコンパクトディスク (CD) は、基板厚さが 1.2 [mm] である。そこで、DVD と CD の両方を再生できる光ヘッド装置が望まれている。

【0003】しかし、通常の光ヘッド装置では、対物レンズがある基板厚さのディスクに対して球面収差を打ち消すように設計されているため、別の基板厚さのディスクを再生する場合、球面収差が残留し、正しく再生することができない。

【0004】〔従来例 (1)〕基板厚さが異なる二種類のディスクを再生できる従来の光ヘッド装置の第一の例として、ジャパニーズ・ジャーナル・オブ・アプライド・フィジックス第 36 巻第 1 部第 1 B 号の 460 頁～466 頁の Fig. 1 に記載のものがある。

【0005】図 19 に、この光ヘッド装置の構成を示す。この図 19 において、一方の光学系 111 及び他方の光学系 112 は、それぞれ所定のレーザ光を出力する半導体レーザと、ディスク (光記録媒体) からの反射光を受光する光検出器とを備えている。この内、一方の光学系 111 内の半導体レーザの波長は 650 [nm]、

他方の光学系 112 内の半導体レーザの波長は 780 [nm] である。

【0006】又、符号 113 は干渉フィルタを示す。この干渉フィルタ 113 は、波長 650 [nm] の光を透過させ、波長 780 [nm] の光を反射させる働きをする。そして、一方の光学系 111 内の半導体レーザからの出射光は、干渉フィルタ 113 を透過し、波長選択ホログラム 161 に入射する。波長選択ホログラム 161 の透過光は、平行光として対物レンズ 115 に入射し、基板厚さ 0.6 [mm] のディスク (光記録媒体) 116 上に集光される。

【0007】ディスク 116 からの反射光は、対物レンズ 115 を逆向きに透過し、再び波長選択ホログラム 161 に入射する。波長選択ホログラム 161 の透過光は干渉フィルタ 113 を透過し、光学系 111 内の光検出器で受光される。

【0008】又、他方の光学系 112 内の半導体レーザからの出射光は干渉フィルタ 113 で反射され、波長選択ホログラム 161 に入射する。波長選択ホログラム 161 の +1 次回折光は、発散光として対物レンズ 15 に入射し、基板厚さ 1.2 [mm] のディスク (光記録媒体) 117 上に集光される。

【0009】ディスク 117 からの反射光は対物レンズ 115 を逆向きに透過し、再び波長選択ホログラム 161 に入射する。又、波長選択ホログラム 161 の +1 次回折光は、干渉フィルタ 113 で反射され、他方の光学系

$$\eta_0 = \cos^2 (\phi/2) \cos^2 (\phi/4) \dots\dots\dots ①$$

$$\eta_{+1} = (8/\pi^2) \sin^2 (\phi/2) \cos^2 [(\phi + \pi)/4] \dots\dots\dots ②$$

$$\text{但し、} \phi = 2\pi (n-1) h/\lambda \dots\dots\dots ③$$

【0015】例えば、 $h = 2.83 [\mu\text{m}]$ 、 $n = 1.46$  のとき、 $\lambda = 650 [\text{nm}]$  に対しては、 $\phi = 4\pi$  であるから、 $\eta_0 = 1$ 、 $\eta_{+1} = 0$  となる。又、 $\lambda = 780 [\text{nm}]$  に対しては、 $\phi = 3.33\pi$  であるから、 $\eta_0 = 0.188$ 、 $\eta_{+1} = 0.567$  となる。

【0016】即ち、波長 650 [nm] の半導体レーザからの出射光は、波長選択ホログラム 61 を全て透過してディスク 116 に向かい、波長 780 [nm] の半導体レーザからの出射光は、波長選択ホログラム 161 で +1 次回折光として 56.7% が回折されてディスク 117 に向かう。

【0017】又、図 20 に示すように、対物レンズ 115 の有効径を  $2a$  としたとき、ホログラムパタン 162 はこれより小さい直径  $2b$  の領域内のみ形成されている。直径  $2b$  の領域外では、波長 650 [nm]、780 [nm] の光は波長選択ホログラム 161 を全て透過する。

【0018】即ち、波長選択ホログラム 161 において、波長 650 [nm] の光は直径  $2a$  の領域内で全て透過し、波長 780 [nm] の光は、直径  $2b$  の領域内では +1 次回折光として 56.7% が回折され、直径 2

\*系 112 内の光検出器で受光される。

【0010】対物レンズ 115 は、波長 650 [nm] の対物レンズ 115 からの出射光が厚さ 0.6 [mm] の基板を透過する際に生じる球面収差を打ち消す球面収差を有し、波長選択ホログラム 161 は、波長選択ホログラム 161 の +1 次回折光に対し、波長 780 [nm] の対物レンズ 115 からの出射光が厚さ 1.2 [mm] の基板を透過する際に生じる球面収差と対物レンズ 115 が有する球面収差の和を打ち消す球面収差を有する。

【0011】従って、波長 650 [nm] の波長選択ホログラム 161 の透過光は対物レンズ 115 によりディスク 116 上に無収差で集光され、波長 780 [nm] の波長選択ホログラム 161 の +1 次回折光は対物レンズ 115 によりディスク 117 上に無収差で集光される。

【0012】図 20 は波長選択ホログラム 161 の平面図および断面図である。波長選択ホログラム 161 は、ガラス基板 118 上に同心円状のホログラムパタン 162 が形成された構成である。

【0013】ホログラムパタン 162 の断面が図のような四レベルの階段状の場合、各段の高さを  $h/2$ 、屈折率を  $n$ 、入射光の波長を  $\lambda$  とすると、透過率  $\eta_0$ 、+1 次回折効率  $\eta_{+1}$  は以下の式で与えられる。

【0014】

$b$  の領域外では全く回折されない。

【0019】従って、対物レンズ 115 の焦点距離を  $f$  とすると、波長 650 [nm]、780 [nm] の光に対する実効的な開口数はそれぞれ「 $a/f$ 」、「 $b/f$ 」で与えられる。例えば、 $f = 3 [\text{mm}]$ 、 $a = 1.8 [\text{mm}]$ 、 $b = 1.35 [\text{mm}]$  とすると、「 $a/f = 0.6$ 」、「 $b/f = 0.45$ 」となる。

【0020】〔従来例 (2)〕基板厚さが異なる二種類のディスクを再生できる従来の光ヘッド装置の第二の例として、ジャパニーズ・ジャーナル・オブ・アプライド・フィジックス第 36 巻第 1 部第 1 B 号の 460 頁～466 頁の Fig. 7 に記載のものがある。

【0021】図 21 に、この光ヘッド装置 (第 2 の従来例) の構成を示す。この図 21 における従来例においても、一方の光学系 111 および他方の光学系 112 は、それぞれ半導体レーザと、ディスクからの反射光を受光する光検出器とを備えている。

【0022】一方の光学系 111 内の半導体レーザの波長は 650 [nm]、他方の光学系 112 内の半導体レーザの波長は 780 [nm] である。また、干渉フィルタ 113 は、波長 650 [nm] の光を透過させると共

に、波長 780 [nm] の光を反射させる働きをする。

【0023】一方の光学系 111 内の半導体レーザからの出射光は干渉フィルタ 113、波長選択開口 163 を透過し、平行光として対物レンズ 115 に入射し、基板厚さ 0.6 [mm] のディスク 116 上に集光される。そして、このディスク 116 からの反射光は対物レンズ 115、波長選択開口 163、干渉フィルタ 113 を逆向きに透過し、一方の光学系 111 内の光検出器で受光される。

【0024】又、他方の光学系 112 内の半導体レーザからの出射光は、干渉フィルタ 113 で反射され、波長選択開口 163 を透過し、発散光として対物レンズ 115 に入射し、基板厚さ 1.2 [mm] のディスク 117 上に集光される。

【0025】ディスク 117 からの反射光は対物レンズ 115、波長選択開口 163 を逆向きに透過し、干渉フィルタ 113 で反射され、光学系 112 内の光検出器で受光される。

【0026】対物レンズ 115 は、対物レンズ 115 に平行光として入射した波長 650 [nm] の光が厚さ 0.6 [mm] の基板を透過する際に生じる球面収差を打ち消す球面収差を有する。このとき、対物レンズ 115 に平行光として入射した波長 780 [nm] の光が厚さ 1.2 [mm] の基板を透過する際には球面収差が残留する。

【0027】しかしながら、対物レンズ 115 に発散光として波長 780 [nm] の光を入射させると、対物レンズ 115 の物点移動に伴う新たな球面収差が生じ、これが厚さ 1.2 [mm] の基板を透過する際に残留する球面収差を打ち消す方向に働く。

【0028】従って、波長 780 [nm] の光の物点位置を最適に設定すれば、波長 650 [nm] の光は対物レンズ 115 によりディスク 116 上に無収差で集光され、波長 780 [nm] の光は対物レンズ 115 によりディスク 117 上に無収差で集光される。

【0029】図 22 (a) (b) は、それぞれ波長選択開口部材 163 の平面図および断面図である。この波長選択開口部材 163 は、ガラス基板 118 上に干渉フィルタパタン 120 が形成された構成である。対物レンズ 115 の有効径を  $2a$  としたとき、干渉フィルタパタン 120 はこれより小さい直径  $2b$  の領域外にのみ形成されている。

【0030】干渉フィルタパタン 120 は、波長 650 [nm] の光を全て透過させ、波長 780 [nm] の光を全て反射させる働きと共に、波長 650 [nm] に対し、直径  $2b$  の領域内を通る光と領域外を通る光の位相差を  $2\pi$  の整数倍に調整する働きをする。

【0031】即ち、波長選択開口部材 163 において、波長 650 [nm] の光は直径  $2a$  の領域内で全て透過し、波長 780 [nm] の光は、直径  $2b$  の領域内では

全て透過し、直径  $2b$  の領域外では全て反射される。

【0032】従って、対物レンズ 115 の焦点距離を  $f$  とすると、波長 650 [nm]、780 [nm] の光に対する実効的な開口数はそれぞれ「 $a/f$ 」、「 $b/f$ 」で与えられる。

【0033】例えば、 $f=3$  [mm]、 $a=1.8$  [mm]、 $b=1.35$  [mm] とすると、「 $a/f=0.6$ 」、「 $b/f=0.45$ 」となる。

【0034】〔従来例 (3)〕基板厚さが異なる二種類のディスクを再生できる従来の光ヘッド装置の第三の例として、特開平 6-295467 号公報に記載のものがある。

【0035】この光ヘッド装置は、半導体レーザと対物レンズの間に、図 21 に示すような可変位相板 164 を備えている。可変位相板 164 は、ガラス基板 118 上に電極 166 で挟まれた環状基板 165 が形成された構成である。

【0036】環状基板 165 は電界により屈折率が変化する性質を有し、電極 166 に印加する電圧を変えることにより、環状基板 65 を通る光と環状基板 165 の内側および外側を通る光の位相差を変化させることができる。

【0037】図 22 は、この光ヘッド装置における波面収差の特性図である。横軸は光の波長で規格化した波面収差、縦軸は対物レンズの焦点距離で規格化した光軸からの距離、すなわち開口数である。

【0038】光の波長を 670 [nm]、対物レンズの開口数を 0.6、基板厚さの設計値に対する違いを  $+0.1$  [mm] とし、開口数 0.6 の光線の波面収差が 0 になるようにフォーカス制御を行うものとする。

【0039】図 22 (a) は、環状基板 165 により位相差を与えない場合であり、波面収差の標準偏差は 0.095  $\lambda$  である。一方、図 22 (b) は、内側の開口数が 0.244、外側の開口数が 0.560 の環状基板 65 により 0.316  $\pi$  の位相差を与えた場合であり、波面収差の標準偏差は 0.048  $\lambda$  に低減される。

【0040】

【発明が解決しようとする課題】従来の光ヘッド装置の第一の例においては、波長 650 [nm] の光は波長選択ホログラム 161 を全て透過するが、波長 780 [nm] の光は波長選択ホログラム 161 で +1 次回折光として 56.7% しか回折されない。

【0041】このため、ディスク 117 の再生時には良好な  $S/N$  が得られず、ディスク 117 の記録時には十分な先出力が得られないという不都合が生じていた。

【0042】従来の光ヘッド装置の第二の例においては、波長 650 [nm] の光は対物レンズ 115 に平行光として入射するが、波長 780 [nm] の光は対物レンズ 115 に発散光として入射する。従って、対物レンズ 115 がアクチュエータによりフォーカシング方向、

トラッキング方向に駆動される場合、波長 650 [nm] の光は収差を生じないが、波長 780 [nm] の光は収差を生じる。このため、ディスク 117 の再生時には良好なジッタが得られず、ディスク 117 の記録時には十分なピーク強度が得られないという不都合があった。

【0043】従来の光ヘッド装置の第三の例においては、光の波長は単一である。デジタルビデオディスクの再生は、波長 650 [nm] では可能であるが、波長 780 [nm] では十分小さい集光スポット径が得られず不可能である。

【0044】一方、コンパクトディスクの一種である追記型コンパクトディスクの再生は、波長 780 [nm] では可能であるが、波長 650 [nm] では十分高い反射率が得られず不可能である。このため、光の波長を 650 [nm] とした場合、追記型コンパクトディスクを再生できないという不都合があった。

【0045】

【発明の目的】本発明の目的は、基板厚さが異なる二種類のディスクを再生できる従来の光ヘッド装置における上に述べた課題を解決し、再生時には良好な S/N およびジッタが得られ、記録時には十分な先出力およびピーク強度が得られると共に、追記型コンパクトディスクも再生できる光ヘッド装置を提供することにある。

【0046】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、本発明では、所定の波長で発振する第 1 の半導体レーザと当該波長のレーザ光を受光する第 1 の光検出器とを有する一方の光学系と、この一方の光学系の半導体レーザとは異なった所定の波長で発振する第 2 の半導体レーザと当該波長のレーザ光を受光する第 2 の光検出器とを有する他方の光学系とを備えている。

【0047】又、前述した第 1 および第 2 の半導体レーザからの出射光を合波し且つ所定の厚さを有する所定の光記録媒体にそれぞれ導くと共に、当該光記録媒体からの反射光を分波して前記第 1 の光検出器又は第 2 の光検出器にそれぞれ導く光合分波手段を装備している。この光合分波手段と前述した所定の光記録媒体との間には、対物レンズが配設されている。

【0048】更に、この光合分波手段と対物レンズの間には、前述した第 1 および第 2 の半導体レーザからの波長の一方の波長に対しては位相分布をほとんど変化させず、他方の波長に対しては位相分布を変化させる性質の波長選択位相板を介装されている。

【0049】そして、前述した第 1 の半導体レーザからの出射光を利用して所定の光記録媒体に対して記録若しくは再生を行うと共に、第 2 の半導体レーザからの出射光を利用して他の所定の光記録媒体に対し記録若しくは再生を行う、という構成を採っている。

【0050】即ち、本発明では、波長の異なる二つの半

導体レーザを有し、第 1 の半導体レーザからの波長の光を用いて対応する所定厚さのディスクに対して記録や再生を行い、第 2 の半導体レーザからの波長の光を用いて対応する所定の厚さのディスクに対して記録や再生を行う。

【0051】ここで、波長選択位相板は、第 1 の半導体レーザからの波長の光に対しては位相分布を変化させず、第 2 の半導体レーザからの波長の光に対しては位相分布を変化させることにより、基板厚さの違いに伴う球面収差を補正する。そして、上記第 1 および第 2 の波長の光は、波長選択位相板を全て透過するため、再生時には良好な S/N が得られ、記録時には十分な先出力が得られる。

【0052】この場合、一方の光学系から出力される所定の波長を、650 [nm] の近傍に設定し、他方の光学系から出力される所定の波長を、780 [nm] の近傍に設定してもよい。

【0053】また、一方の光学系から出力されるレーザ光は、厚さ 0.6 [mm] 程度の光記録媒体を対象とすると共に、他方の光学系から出力されるレーザ光は、厚さが 1.2 [mm] 程度の光記録媒体を対象とするようにしてもよい。

【0054】更に、前述した第 1 および第 2 の半導体レーザからの出射光は、対物レンズに対しては平行光として入射するようにしてもよい。このようにすると、対物レンズが移動した場合にも収差を生じないため、再生時には良好なジッタが得られ、記録時には十分なピーク強度が得られる。又、前述した他方の波長を 780 [nm] の近傍に設定することにより、追記型コンパクトディスクの再生も可能となる。

【0055】前述した波長選択位相板は、基板上に同心円状に位相板パターンおよび干渉フィルタパターンを形成しうて成る構造とするとよい。

【0056】ここで、位相板パターンについては、対物レンズの有効径より小さい直径の円形領域内にのみ形成すると都合がよい。この場合、位相板パターンの断面は、2 レベルの矩形状としても、或いは 3 レベル以上の階段状としてもよい。又、前述した位相板パターンのある部分とない部分とを通る光の位相差は、前述した第 1 又は第 2 の半導体レーザからの出射光の波長に対して  $2\pi$  の整数倍とするとよい。

【0057】更に又、位相板パターンの隣接する二つの段の高い方と低い方を通る光の位相差は、前述した第 1 又は第 2 の半導体レーザからの出射光の波長に対して  $2\pi$  の整数倍としてもよい。

【0058】前述した干渉フィルタパターンについては、円形領域外にのみ形成すると有効である。この干渉フィルタパターンは、一方の光学系から出力される波長の光を全て透過させると共に、他方の光学系から出力される波長の光を全て反射させる特性を有し、一方の光学系から

出力される波長に対しては、円形領域内を通る光と円形領域外を通る光の位相差を  $2\pi$  の整数倍に調整すると都合がよい。

【0059】また、前述した波長選択位相板は、対物レンズと共にアクチュエータによりフォーカシング方向およびトラッキング方向に一体駆動するように構成してもよい。ここで、波長選択位相板については、その法線を、対物レンズの光軸に対して僅かに傾けるようにしてもよい。

【0060】前述した光合波手段は、一方の光学系から出力される波長の光を透過させ、他方の光学系から出力される波長の光を反射させる性質の干渉フィルタで形成してもよい。

【0061】更に、前述した位相板パターンは、ガラス基板上に誘電体膜を堆積させることにより形成してもよい。この位相板パターンは、又、ガラス基板をエッチングすることにより形成してもよい。

【0062】前述した干渉フィルタパターンは、ガラス基板上に誘電体多層膜を堆積させることにより形成するようにしてもよい。この場合、誘電体多層膜については、1層目に低屈折率層が、2層目以降に高屈折率層と低屈折率層とが交互に奇数層積層された構造としてもよい。

【0063】又、位相板パターンおよび前記干渉フィルタパターンについては、同一のガラス基板の同一の面上に形成したものであってもよい。この位相板パターンおよび前記干渉フィルタパターンについては、同一のガラス基板の別々の面上に形成したものであってもよい。

【0064】更に、この位相板パターンおよび前記干渉フィルタパターンについては、別々のガラス基板上に形成したものであってもよい。この場合、別々のガラス基板にあって、前述した位相板パターンおよび干渉フィルタパターンが形成されていない面同志は、接着剤により互いに接着すると都合がよい。

【0065】ガラス基板の片面又は両面には、反射防止膜を形成すると都合がよい。また、前述した位相板パターンは、ガラス又はプラスチックの成形をもって形成したものであってもよい。

【0066】更に、前述した位相板パターン又は干渉フィルタパターンは、対物レンズ上に一体で形成したものであってもよい。

【0067】又、一方の光学系又は他方の光学系は、第1又は第2の半導体レーザからの出射光を平行光化するコリメータレンズを、それぞれ備えている。そして、その効能は前述した通りである。

【0068】更に、この一方又は他方の光学系は、内蔵する第1又は第2の半導体レーザから出射して対応する各光記録媒体に向かう光と、第1又は第2の光記録媒体で反射されて前述した第1又は第2の光検出器に向かう光とを分離する光分離手段を備えている。

【0069】この場合、光分離手段は、ビームスプリッタとしてもよい。また、光分離手段を偏光ビームスプリッタで構成し、この偏光ビームスプリッタと対物レンズとの間に1/4波長板を設けてもよい。

【0070】更に、第1の半導体レーザと第1の光検出器、又は第2の半導体レーザと第2の光検出器は、同一のパッケージに収納してもよい。また、光分離手段をホログラム光学素子で構成してもよい。この場合、この偏光性ホログラム光学素子と前述した対物レンズの間に1/4波長板を設けると都合がよい。

【0071】

【発明の実施の形態】以下、本発明における光ヘッド装置の実施の形態について説明する。

【0072】〔第1の実施形態〕図1に第1の実施の形態を示す。この図1において、光学系11および光学系12は、干渉フィルタ13に対向し且つ同一面上で二方向に分かれて装備されている。また、これら光学系11および光学系12は、いずれも、半導体レーザと、ディスク（光記録媒体）からの反射光を受光する光検出器とを備えている。又、図1において、符号14は波長選択位相板を示す。

【0073】ここで、干渉フィルタ13は、波長650 [nm] の光を透過させ、波長780 [nm] の光を反射させる働きをする。このため、これに合わせて、図1における実施形態にあっては、一方の光学系11内の半導体レーザの波長は650 [nm]、他方の光学系12内の半導体レーザの波長は780 [nm] のものが装備されている。

【0074】一方の光学系11内の半導体レーザからの出射光は、干渉フィルタ13、波長選択位相板14を透過し、平行光として対物レンズ15に入射し、光記憶媒体である基板厚さ0.6 [mm] のディスク16上に集光される。このディスク16からの反射光は、対物レンズ15、波長選択位相板14、干渉フィルタ13を逆向きに透過し、前述した一方の光学系11内の光検出器で受光される。

【0075】これに対し、他方の光学系12内の半導体レーザからの出射光は、干渉フィルタ13で反射され、波長選択位相板14を透過し、平行光として対物レンズ15に入射し、光記憶媒体である基板厚さ1.2 [mm] が装備された場合には当該基板厚さ1.2 [mm] のディスク17上に集光される。そして、このディスク17からの反射光は、対物レンズ15、波長選択位相板14を逆向きに透過し、干渉フィルタ13で反射され、しかる後、光学系12内の光検出器で受光される。

【0076】ここで、対物レンズ15は、波長650 [nm] の対物レンズ15からの出射光が厚さ0.6 [mm] の基板を透過する際に生じる球面収差を打ち消す球面収差を有する。従って、波長選択位相板14を用いない場合、波長780 [nm] の対物レンズ15から



の出射光が厚さ1.2 [mm]の基板を透過する際には球面収差が残留する。

【0077】図2は、波長選択位相板14を用いない場合の波面収差の特性図である。ここで、前述した従来例における図24と同様に、横軸は波面収差、縦軸は開口数である。又、波長780 [nm]の光に対する対物レンズ15の実効的な開口数を0.45とし、波面収差の標準偏差が最小になるようにフォーカス制御を行うものとする。

【0078】そして、このときの最良像面は、無収差時の像面の位置に対して9.4 [μm]だけ対物レンズ15から遠ざかった位置にあり、その位置での波面収差の標準偏差は0.188λであった。

【0079】図3(a)(b)は、それぞれ図1に示す第1の実施形態に用いた波長選択位相板14の平面図および断面図である。この波長選択位相板14は、ガラス基板18上に同心円状の位相板パターン19および干渉フィルタパターン20を形成した場合を示す。ここで、位相板パターン19は、中央部に円柱状の位相板中央パターン部19aを備え、その周囲に所定間隔を隔てて同一高さの筒状の筒状位相板パターン部19bを備えた構成となっている。また、干渉フィルタパターン20は、全体的に高さが位相板パターン19よりも低く形成されている。

【0080】対物レンズ15の有効径を2aとしたとき、位相板パターン19はこれより小さい直径2bの領域内のみ形成されている。位相板パターン19の断面は図3(b)のような2レベルの矩形状である。

【0081】位相板パターン19の高さをh、屈折率をn、入射光の波長をλとすると、位相板パターン19のある部分とない部分を通る光の位相差は、前述した式(3)で与えられる。例えば、h=2.83 [μm]、n=1.46のとき、λ=650 [nm]に対しては、φ=4π(=0)、λ=780 [nm]に対しては、φ=3.33π(=-0.6π)となる。

【0082】干渉フィルタパターン20は、図3(b)に示すように直径2bの領域外にのみ形成されている。この場合、干渉フィルタパターン20は、波長650 [nm]の光を全て透過させ、波長780 [nm]の光を全て反射させる働きと共に、波長650 [nm]に対し、直径2bの領域内を通る光と領域外を通る光の位相差を2πの整数倍に調整する働きをする。

【0083】即ち、波長選択位相板14において、波長650 [nm]の光は直径2aの領域内で位相分布の変化を受けずに全て透過する。又、波長780 [nm]の光は、直径2bの領域内では位相分布の変化を受けて全て透過し、直径2bの領域外では全て反射される。

【0084】従って、対物レンズ15の焦点距離をfとすると、波長650 [nm]、780 [nm]の光に対する実効的な開口数はそれぞれ「a/f」、「b/f」で与えられる。例えば、f=3 [mm]、a=1.8

[mm]、b=1.35 [mm]とすると、a/f=0.6、b/f=0.45となる。

【0085】図4は、上記図3に示す波長選択位相板14を用いた場合の波面収差を示す特性図である。前述した図22(従来例)の場合と同様に、横軸に波面収差、縦軸に開口数を示す。

【0086】ここで、波長780 [nm]の光に対する対物レンズ15の実効的な開口数を0.45、位相板パターン19の配置を図5に示す図表のように設定する。そして、波面収差の標準偏差が最小になるようにフォーカス制御を行う。このときの最良像面は、無収差時の像面の位置に対して12.0 [μm]だけ対物レンズ15から遠ざかった位置にあり、その位置での波面収差の標準偏差は、0.076λであることが確認された。

【0087】従って、波長650 [nm]の光は、対物レンズ15によってディスク16上に無収差で集光される。又、波長780 [nm]の光は、基板厚さの違いに伴う球面収差が前述した0.188λから0.076λに低減されて、対物レンズ15によってディスク17上に、集光される。

【0088】尚、従来例を示す図22では、図22(b)は図22(a)に比べて、環状基板65のある部分の波面収差が正方向にシフトしている。これに対し、本実施形態を示す図4では、図2に比べ、逆に位相板パターン19のない部分の波面収差が正方向にシフトしている。これは、式(3)で与えられる位相差φが、従来例の環状基板65では正であるのに対し、本実施形態における位相板パターン19では実効的に負であることによる。

【0089】図3に示す波長選択位相板14では、位相板パターン19のある部分とない部分を通る光の位相差はλ=650 [nm]に対して4πであるが、これは4πに限らず2πの整数倍であればよい。

【0090】図6は、図1に示す第1の実施形態に用いた波長選択位相板14の他の例(波長選択位相板24)を示すもので、図6(a)はその平面図、図6(b)は図6(a)のB-B線に沿った断面図である。この波長選択位相板24は、ガラス基板18上に同心円状の位相板パターン21および干渉フィルタパターン20が形成された構成となっている。

【0091】ここで、対物レンズ15の有効径を2aとしたとき、位相板パターン21は、これより小さい直径2bの領域内のみ形成されている。ここで、位相板パターン21は、上端に平坦部を備えた断面ピラミッド状(四レベルの階段状)に形成された位相板中央パターン部21aと、その周囲に所定間隔を隔てて筒状の筒状位相板パターン部21bを備えた構成となっている。

【0092】この場合、筒状位相板パターン部21bは内側が断面が二段の階段状に形成されている。そして、前述した位相板中央パターン部21aの高さは、本実施形態



にあつては筒状位相板パタン部 21b の 1.5 倍程度に設定されている。また、干渉フィルタパタン 20 は、全体的に高さが位相板パタン 21 よりも低く形成されている。

【0093】又、これを位相差との関係で説明すると、図 6 (b) に示すように四レベルの階段状にあつて、隣接する二つの段の高さの差を  $h$ 、屈折率を  $n$ 、入射光の波長を  $\lambda$  とすると、位相板パタン 21 の隣接する二つの段の高い方と低い方を通る光の位相差は、前述した式 (3) で与えられる。

【0094】例えば、 $h = 1.41 [\mu\text{m}]$ 、 $n = 1.46$  のとき、 $\lambda = 650 [\text{nm}]$  に対しては、 $\phi = 2\pi (=0)$  となる。又、 $\lambda = 780 [\text{nm}]$  に対しては、 $\phi = 1.67\pi (= -0.33\pi)$  となる。

【0095】ここで、干渉フィルタパタン 20 は、図 6 (b) に示すように、直径 2b の領域外にのみ形成されている。この干渉フィルタパタン 20 は、波長 650 [nm] の光を全て透過させ、波長 780 [nm] の光を全て反射させる働きと共に、波長 650 [nm] に対し、直径 2b の領域内を通る光と領域外を通る光の位相差を  $2\pi$  の整数倍に調整する働きをする。

【0096】即ち、波長選択位相板 24 において、波長 650 [nm] の光は直径 2a の領域内で位相分布の変化を受けずに全て透過し、波長 780 [nm] の光は、直径 2b の領域内では位相分布の変化を受けて全て透過し、直径 2b の領域外では全て反射される。

【0097】従つて、対物レンズ 15 の焦点距離を  $f$  とすると、波長 650 [nm]、780 [nm] の光に対する実効的な開口数はそれぞれ「 $a/f$ 」、「 $b/f$ 」で与えられる。例えば、 $f = 3 [\text{mm}]$ 、 $a = 1.8 [\text{mm}]$ 、 $b = 1.35 [\text{mm}]$  とすると、 $a/f = 0.6$ 、 $b/f = 0.45$  となる。図 7 は、図 6 に示す波長選択位相板 24 を用いた場合の波面収差の特性図である。ここで、前述した従来例における図 22 と同様に、横軸は波面収差、縦軸は開口数である。

【0098】ここで、波長 780 [nm] の光に対する対物レンズ 15 の実効的な開口数を 0.45、位相板パタン 21 の配置を図 8 のように設定する。そして又、波面収差の標準偏差が最小になるようにフォーカス制御を行うものとする。

【0099】このときの最良像面は、無収差時の像面の位置に対して  $14.1 [\mu\text{m}]$  だけ対物レンズ 15 から遠ざかった位置にあり、その位置での波面収差の標準偏差は  $0.042\lambda$  であった。

【0100】従つて、波長 650 [nm] の光は対物レンズ 15 によりディスク 16 上に無収差で集光され、波長 780 [nm] の光は対物レンズ 15 によりディスク 17 上に、基板厚さの違いに伴う球面収差が前述した  $0.188\lambda$  から  $0.042\lambda$  に低減されて集光される。

【0101】尚、前述した従来例において、図 24

(b) は図 24 (a) に比べて環状基板 165 のある部分の波面収差が正方向にシフトしている。これに対し、本実施形態における図 7 は、図 2 に比べて逆に位相板パタン 21 の四つの段の低い方へと波面収差が正方向に大きくシフトしている。これは、式 (3) で与えられる位相差  $\phi$  が、環状基板 65 では正であるのに対し、位相板パタン 21 では実効的に負であることによる。

【0102】図 6 に示す波長選択位相板 24 では、位相板パタン 21 の隣接する二つの段の高い方と低い方を通る光の位相差は  $\lambda = 650 [\text{nm}]$  に対して  $2\pi$  であるが、これは  $2\pi$  に限らず  $2\pi$  の整数倍であればよい。

【0103】又、上記図 6 に示す波長選択位相板 24 における位相板パタン 21 の断面は、4 レベルの階段状であるが、これは 3 レベル以上であれば何レベルでもよい。

【0104】また、上記実施形態にあつては、ディスク 16、17 を説明の便宜上同一箇所に重ねて描いた場合を示したが、これは、例えば DVD 用と CD 用とを兼用できることを意味したものであり、本来別々に装備し使用するものであることを、念のため付記する (以下、同じ)。

【0105】〔第 2 の実施の形態〕図 9 に第 2 の実施形態を示す。

【0106】この図 9 において、一方の光学系 11 および他方の光学系 12 は、前述した第 1 の実施形態の場合と同様に、半導体レーザとディスク (光記録媒体) からの反射光を受光する光検出器を備えている。又、前述した第 1 の実施形態の場合と同様に、一方の光学系 11 内の半導体レーザの波長は 650 [nm]、他方の光学系 12 内の半導体レーザの波長は 780 [nm] に設定されている。

【0107】干渉フィルタ 13 は、波長 650 [nm] の光を透過させ、波長 780 [nm] の光を反射させる働きをする。一方の光学系 11 内の半導体レーザからの出射光は干渉フィルタ 13、波長選択位相板 22 を透過し、平行光として対物レンズ 23 に入射し、基板厚さ  $0.6 [\text{mm}]$  のディスク 16A 上に集光される。

【0108】又、ディスク 16 からの反射光は、対物レンズ 23、波長選択位相板 22、干渉フィルタ 13 を逆向きに透過し、当該一方の光学系 11 内の光検出器で受光される。

【0109】これに対し、他方の光学系 12 内の半導体レーザからの出射光は干渉フィルタ 13 で反射され、波長選択位相板 22 を透過し、平行光として対物レンズ 23 に入射し、基板厚さ  $1.2 [\text{mm}]$  のディスク 17 上に集光される。そして、ディスク 17 からの反射光は、対物レンズ 23、波長選択位相板 22 を逆向きに透過し、干渉フィルタ 13 で反射され、当該他方の光学系 12 内の光検出器で受光される。

【0110】対物レンズ23は、内周部では波長780 [nm] の対物レンズ23からの出射光が厚さ1.2 [mm] の基板を透過する際に生じる球面収差を打ち消す球面収差を有し、外周部では波長650 [nm] の対物レンズ23からの出射光が厚さ0.6 [mm] の基板を透過する際に生じる球面収差を打ち消す球面収差を有する。従って、波長選択位相板22を用いない場合、波長650 [nm] の対物レンズ23からの出射光が厚さ0.6 [mm] の基板を透過する際には球面収差が残留する。

【0111】図10は波長選択位相板22を用いない場合の波面収差の特性図である。ここで、図22（従来例）と同様に、横軸は波面収差、縦軸は開口数である。ここで、波面収差の値が前述した第1の実施形態の場合と反転した状態となっているのは、対物レンズ23の球面収差の相違による。

【0112】波長65.0 [nm] の光に対する対物レンズ23の内周部の実効的な開口数を0.45とし、波面収差の標準偏差が最小になるようにフォーカス制御を行うものとする。この場合の内周部の最良像面は、無収差時の像面の位置に対して9.4 [μm] だけ対物レンズ23に近づいた位置にあり、その位置での波面収差の標準偏差は0.226λとなっている。

【0113】ここで、図9に示す第2の実施形態に用いる波長選択位相板22は、前述した図3（第1の実施形態）に示すもの（波長選択位相板14）と同一のものが使用されている。即ち、この波長選択位相板22は、ガラス基板18上に同心円状に位相板パターン19及び干渉フィルタパターン20が形成された構造となっている。

【0114】又、対物レンズ23の有効径を2aとしたとき、位相板パターン19はこれより小さい直径2bの領域内にのみ形成されている。位相板パターン19の断面は図のような2レベルの断面矩形状である。

【0115】ここで、高さをh、屈折率をn、入射光の波長をλとすると、位相板パターン19のある部分とない部分を通る光の位相差は前述した式（3）で与えられる。例えば、h=3.39 [μm]、n=1.46のとき、λ=780 [nm] に対しては、φ=4π（=0）となる。また、λ=650 [nm] に対しては、φ=4.8π（=0.8π）となる。

【0116】また、図3に示すように、干渉フィルタパターン20は、直径2bの領域外にのみ、形成されている。この干渉フィルタパターン20は、波長650 [nm] の光を全て透過させ、波長780 [nm] の光を全て反射させる働きと共に、波長650 [nm] に対し、直径2bの領域内を通る光と領域外を通る光の位相差を2πの整数倍に調整する働きをする。

【0117】即ち、波長選択位相板22において、波長650 [nm] の光は、直径2bの領域内では位相分布の変化を受けて全て透過し、直径2aと直径2bの間の

領域では位相分布の変化を受けずに全て透過し、波長780 [nm] の光は、直径2bの領域内では位相分布の変化を受けずに全て透過し、直径2bの領域外では全て反射される。

【0118】従って、対物レンズ23の焦点距離をfとすると、波長650 [nm]、780 [nm] の光に対する実効的な開口数は、それぞれ「a/f」、「b/f」で与えられる。例えば、f=3 [mm]、a=1.8 [mm]、b=1.35 [mm] とすると、「a/f=0.6」、「b/f=0.45」となる。なお、対物レンズ23の内周部と外周部の境界の直径は2bである。

【0119】即ち、対物レンズ23は、直径2bの領域内では波長780 [nm] の対物レンズ23からの出射光が厚さ1.2 [mm] の基板を透過する際に生じる球面収差を打ち消す球面収差を有し、直径2aと直径2bの間の領域では波長650 [nm] の対物レンズ23からの出射光が厚さ0.6 [mm] の基板を透過する際に生じる球面収差を打ち消す球面収差を有する。

【0120】図11は図3に示す波長選択位相板14と同等の波長選択位相板22を用いた場合の波面収差の特性図である。ここで、図24（従来例）の場合と同様に、横軸は波面収差、縦軸は開口数である。

【0121】波長650 [nm] の光に対する対物レンズ23の内周部の実効的な開口数を0.45、位相板パターン19の配置を図5に示す図表のものと同一とする。又、波面収差の標準偏差が最小になるようにフォーカス制御を行うものとする。このときの内周部の最良像面は、無収差時の像面の位置に対して12.0 [μm] だけ対物レンズ23に近づいた位置にあり、その位置での波面収差の標準偏差は0.091λであった。

【0122】従って、対物レンズ23を、外周部の像面が内周部の無収差時の像面の位置に対して12.0 [μm] だけ対物レンズ23に近づいた位置にあるように設計しておけば、波長780 [nm] の光は対物レンズ23によりディスク17上に無収差で集光され、波長650 [nm] の光は対物レンズ23によりディスク16上に、基板厚さの違いに伴う球面収差が0.226λから0.091λに低減されて集光される。

【0123】尚、従来例における図24（b）にあっては、図24（a）に比べて環状基板165のある部分の波面収差が正方向にシフトしている。これに対し、本実施形態において、図11では図10に比べて同様に位相板パターン19のある部分の波面収差が正方向にシフトしている。

【0124】これは、式（3）で与えられる位相差φが、従来例（図24参照）の環状基板165では正であるのに対し、位相板パターン19でも実効的に正であることによる。

【0125】ここで、前述した図3に示す波長選択位相

板22では、位相板パタン19のある部分とない部分を通る光の位相差は $\lambda = 780$  [nm] に対して $4\pi$ であるが、これは $4\pi$ に限らず $2\pi$ の整数倍であればよい。

【0126】又、第2の実施形態(図9)に示す波長選択位相板22については、前述した図6に示す波長選択位相板24を用いてもよい。この場合、ガラス基板18上には、同心円状の位相板パタン21および干渉フィルタパタン20が形成された構造となっている。そして、この場合、対物レンズ23の有効径を $2a$ としたとき、位相板パタン21は、これより小さい直径 $2b$ の領域内にのみ形成されている。

【0127】ここで、位相板パタン21の断面は、図6に示すように四レベルの階段状である。そして、隣接する二つの段の高さの差を $h$ 、屈折率を $n$ 、入射光の波長を $\lambda$ とすると、位相板パタン21の隣接する二つの段の高い方と低い方を通る光の位相差は式(3)で与えられる。

【0128】例えば、 $h = 1.70$  [ $\mu\text{m}$ ]、 $n = 1.46$ のとき、 $\lambda = 780$  [nm] に対しては、 $\phi = 2\pi$  ( $=0$ ) となり、 $\lambda = 650$  [nm] に対しては、 $\phi = 2.4\pi$  ( $=0.4\pi$ ) となる。

【0129】また、干渉フィルタパタン20は、図6に示すように、直径 $2b$ の領域外にのみ形成されている。この干渉フィルタパタン20は、図6に場合と同様に、ここでも、波長 $650$  [nm] の光を全て透過させ、波長 $780$  [nm] の光を全て反射させる働きと共に、波長 $650$  [nm] に対し、直径 $2b$ の領域内を通る光と領域外を通る光の位相差を $2\pi$ の整数倍に調整する働きをする。

【0130】即ち、波長選択位相板22において、波長 $650$  [nm] の光は、直径 $2b$ の領域内では位相分布の変化を受けて全て透過し、直径 $2a$ と直径 $2b$ の間の領域では位相分布の変化を受けずに全て透過し、波長 $780$  [nm] の光は、直径 $2b$ の領域内では位相分布の変化を受けずに全て透過し、直径 $2b$ の領域外では全て反射される。

【0131】従って、対物レンズ23の焦点距離を $f$ とすると、波長 $650$  [nm]、 $780$  [nm] の光に対する実効的な開口数は、それぞれ「 $a/f$ 」、「 $b/f$ 」で与えられる。例えば、 $f = 3$  [mm]、 $a = 1.8$  [mm]、 $b = 1.35$  [mm] とすると、「 $a/f = 0.6$ 」、「 $b/f = 0.45$ 」となる。ここで、対物レンズ23の内周部と外周部の境界の直径は $2b$ である。

【0132】即ち、対物レンズ23は、直径 $2b$ の領域内では波長 $780$  [nm] の対物レンズ23からの出射光が厚さ $1.2$  [mm] の基板を透過する際に生じる球面収差を打ち消す球面収差を有し、直径 $2a$ と直径 $2b$ の間の領域では波長 $650$  [nm] の対物レンズ23からの出射光が厚さ $0.6$  [mm] の基板を透過する際に

生じる球面収差を打ち消す球面収差を有する。

【0133】図12は、図6に示す波長選択位相板22を用いた場合の波面収差の特性図である。ここ、図24(従来例)の場合と同様に、横軸は波面収差、縦軸は開口数である。

【0134】波長 $650$  [nm] の光に対する対物レンズ23の内周部の実効的な開口数を $0.45$ 、位相板パタン21の配置を図8に示す図表のものと同一とする。又、波面収差の標準偏差が最小になるようにフォーカス制御を行うものとする。

【0135】このときの内周部の最良像面は、無収差時の像面の位置に対して $14.1$  [ $\mu\text{m}$ ] だけ対物レンズ23に近づいた位置にあり、その位置での波面収差の標準偏差は $0.051\lambda$ である。

【0136】従って、この場合、対物レンズ23を外周部の像面が内周部の無収差時の像面の位置に対して $14.1$  [ $\mu\text{m}$ ] だけ対物レンズ23に近づいた位置にあるように設計しておけば、波長 $780$  [nm] の光は対物レンズ23によりディスク17上に無収差で集光される。又、波長 $650$  [nm] の光は対物レンズ23によりディスク16上に、基板厚さの違いに伴う球面収差が $0.226\lambda$ から $0.051\lambda$ に低減されて集光される。

【0137】尚、従来例において、図24(b)は図24(a)に比べて環状基板165のある部分の波面収差が正方向にシフトしている。これに対し、本実施形態における図12では図10に比べ、同様に位相板パタン21の四つの段の高い方ほど波面収差が正方向に大きくシフトしている。

【0138】これは、式(3)で与えられる位相差 $\phi$ が、従来例(図24参照)における環状基板165では正であるのに対し、本実施形態における位相板パタン21でも実効的に正であることによる。

【0139】又、図6に示す波長選択位相板24と同等のものを波長選択位相板22として装備した場合、位相板パタン21の隣接する二つの段の高い方と低い方を通る光の位相差は $\lambda = 780$  [nm] に対して $2\pi$ であるが、これは $2\pi$ に限らず $2\pi$ の整数倍であればよい。

【0140】また、図6に示す波長選択位相板24と同等のものを波長選択位相板22として装備した場合、位相板パタン21の断面は四レベルの階段状であるが、これは三レベル(三段)以上であれば何レベルでもよい。

【0141】更に、図1、図9に示す実施形態では、波長選択位相板14、22は、対物レンズ15、23と共にアクチュエータによりフォーカシング方向、トラッキング方向に一体駆動されるようになっている。

【0142】対物レンズ15、23のみがアクチュエータによりトラッキング方向に駆動される場合、波長選択位相板14、22の同心円状の位相板パタンの中心と対物レンズ15、23の中心がずれるため、波長選択位相

板14、22においては、位相分布の変化を受ける光は収差を生じる。

【0143】尚、この場合、波長選択位相板14、22を、対物レンズ15、23と共にアクチュエータによりトラッキング方向に一体駆動すれば、このような収差を生じない。更に、図1、図9に示す実施形態では、波長選択位相板14、22の法線を対物レンズ15、23の光軸に対して僅かに傾けることも可能である。

【0144】波長選択位相板14、22の法線が光軸に対して平行な場合、波長選択位相板14、22で反射された迷光が光学系11、光学系12内の光検出器に入射する。しかしながら、波長選択位相板14、22の法線を光軸に対して僅かに傾けた場合、このような迷光は光検出器には入射しない。

【0145】図1、図9に示す実施の形態では、波長650[nm]の光を透過させ、波長780[nm]の光を反射させる干渉フィルタ13を用いている。これに対し、波長650[nm]の光を反射させ、波長780[nm]の光を透過させる干渉フィルタを用いることも可能である。この場合は、一方の光学系11と他方の光学系12の位置を入れ換えればよい。

【0146】図1、図9に示す実施の形態では、波長650[nm]の光、波長780[nm]の光とも、波長選択位相板14、22を実効的な開口数内で全て透過するため、ディスク16、ディスク17の再生時には良好なS/Nが得られ、記録時には十分な先出力が得られる。

【0147】また、波長650[nm]の光、波長780[nm]の光とも、対物レンズ15、23に平行光として入射し、当該対物レンズ15、23が移動した場合にも収差を生じないため、ディスク16、ディスク17の再生時には良好なジッタが得られ、記録時には十分なピーク強度が得られる。

【0148】更に、波長780[nm]の光により、ディスク16Bが追記型コンパクトディスクの場合にも再生が可能である。

【0149】〔波長選択位相板の製法(その1)〕次に、本発明の要部を成す上述した波長選択位相板14、24の製造方法について詳述する。図13に、上述した第1および第2の実施の形態に装備された波長選択位相板14、24の製造方法を示す。

【0150】この図13では、位相板パターンは、まず、ガラス基板18上に酸化珪素(SiO<sub>2</sub>)等の誘電体膜を堆積させることにより形成される。

【0151】最初に、波長選択位相板14(図3参照)に示す断面が2レベル(2段)の矩形状である位相板パターン19を形成する場合について説明する。まず、図13(a)に示すように、フォトリソを用いて領域19E部分および19F部分に高さhの堆積を行う。これによって、ガラス基板18上に位相板パターン19が形成さ

れ、波長選択位相板14が完成する。

【0152】又、波長選択位相板24(図6参照)に示すように、断面が4レベルの階段状である位相板パターン21を形成する場合は、図13(a)において、まず、1枚目のフォトリソを用いて領域19E部分、19F部分に、高さ2hの堆積を行い、図13(b)に示すように、2枚目のフォトリソを用いて領域21E部分に高さhの堆積を行う。これによって、ガラス基板18上に位相板パターン21が形成される。

【0153】更に、干渉フィルタパターン20を形成するには、図13(c)に示すように、フォトリソを用いて前述した図13(b)に加えて、ガラス基板18上に誘電体多層膜を堆積させることにより形成される。これによって、波長選択位相板24が完成する。

【0154】〔波長選択位相板の製法(その2)〕図14に、本発明の光ヘッド装置の第1および第2の実施形態に用いる波長選択位相板14、24の他の製造方法を示す。この図14では、ガラス基板18をエッチングすることによって位相板パターン19を形成するようにしたものである。

【0155】いま、波長選択位相板14(図3参照)に示す断面が2レベルの矩形状である前述した位相板パターン19(図3参照)と同等の位相板パターン29を形成する場合、まず、図14(a)に示すように、フォトリソを用いて領域29A部分(環状)に深さhのエッチングを行う。これによって、ガラス基板28上に位相板パターン29が形成され、波長選択位相板14(図3参照)と同等の波長選択位相板14Aが完成する。

【0156】又、波長選択位相板24(図6参照)に示す断面が4レベルの階段状である位相板パターン21(図6参照)と同等の位相板パターン31を形成する場合は、図14(a)において、まず、1枚目のフォトリソを用いて領域29A部分に深さ2hのエッチングを行い、図14(b)に示すように、2枚目のフォトリソを用いて領域31A部分に高さhのエッチングを行う。これによって、ガラス基板28上に位相板パターン31が形成される。

【0157】また、図12(c)に示すように、干渉フィルタパターン20は、フォトリソを用いてガラス基板28上に誘電体多層膜を堆積させることにより形成される。これによって、波長選択位相板24Aが完成する。

【0158】〔波長選択位相板の干渉フィルタパターン等について〕上記干渉フィルタパターン20を構成する誘電体多層膜は、一層目に低屈折率層、二層目以降に高屈折率層と低屈折率層を交互に奇数層積層した構成となっている。この場合、二層目以降の各層の屈折率を $n_1$ 、 $n_2$ とし、厚さを $d_1$ 、 $d_2$ とすると、波長650[nm]の光を全て透過させ、波長 $\lambda = 780$ [nm]の光を全て反射させるには、「 $n_1 \cdot d_1 = n_2 \cdot d_2 = \lambda / 4$ 」とすればよい。

【0159】高屈折率層として酸化チタン ( $\text{TiO}_2$ ) を、低屈折率層として酸化珪素 ( $\text{SiO}_2$ ) を用いると、 $n_1$ 、 $n_2$  は、それぞれ  $n_1 = 2.30$ 、 $n_2 = 1.46$  であるから、 $d_1 = 85$  [nm]、 $d_2 = 134$  [nm] となる。

【0160】ここで、一層目の厚さは、波長 650 [nm] に対し、干渉フィルタパタン 20 がある部分とない部分とを通る光の位相差が  $2\pi$  の整数倍になるように設定される。

【0161】尚、上記図 13 及び図 14 に示す各製造方法にあつては、位相板パタンおよび干渉フィルタパタンは、同一のガラス基板の同一の面上に形成したが、これに対し、位相板パタンおよび干渉フィルタパタンを同一のガラス基板の別々の面上に形成することも可能である。

【0162】又、位相板パタンおよび干渉フィルタパタンを別々のガラス基板上に形成することも可能である。この場合、別々のガラス基板の位相板パタン及び干渉フィルタパタンが形成されていない面同志を、接着剤により互いに接着することも可能である。更に、これらのガラス基板の片面又は両面に反射防止膜を形成することも可能である。

【0163】更に、図 13 および図 14 に示す上記各製造方法では、位相板パタンおよび干渉フィルタパタンをガラス基板上に形成する場合を例示したが、これに対し、位相板パタンをガラス又はプラスチックの成形により形成することも可能である。位相板パタン又は干渉フィルタパタンを対物レンズ上に一体で形成することも可能である。

【0164】〔光学系について〕図 15 に、前述した第 1 および第 2 の実施形態に用いる、半導体レーザ 11A と光検出器 11B とを含む光学系 11 (又は 12) の具体例を示す。

【0165】この図 15 に示す光学系は、再生専用型のディスクに対して好適であり、一方の光学系 11 としてそのまま用いると、基板厚さ 0.6 [mm] のデジタルビデオディスクの再生が可能であり、また、他方の光学系 12 としてそのまま用いると、基板厚さ 1.2 [mm] のコンパクトディスクの再生が可能である。

【0166】以下、これを更に詳述する。光学系 11 (又は 12) の備えている半導体レーザ 11A から出力された出射光は、回折格子 30 で透過光と  $\pm 1$  次回折光の三つの光に分けられ、それぞれコリメータレンズ 29 で平行光化され、光分離手段としてのビームスプリッタ 32 を約 50% 透過してディスクに向かう。ディスクで反射された三つの光は、それぞれビームスプリッタ 32 で約 50% が反射され、レンズ 33、円筒レンズ 34 を透過して光検出器 11B で受光される。ここで、回折格子 30 は必ずしも必要ではない。

【0167】図 16 に光検出器 11B の具体例を示す。

【0168】図 15 における往路の回折格子 30 の透過光は、四分割された受光部 36~39 上に光スポット 42 を形成する。又、往路の回折格子 30 の  $\pm 1$  次回折光は、それぞれ受光部 40 および 41 上に光スポット 43 および 44 を形成する。

【0169】受光部 36~41 からの出力を、それぞれ  $V_{36} \sim V_{41}$  [V] で表わすと、フォーカス誤差信号は、公知の非点収差法により、「 $(V_{36} + V_{39}) - (V_{37} + V_{38})$ 」の演算から得られる。

10 【0170】トラック誤差信号は、デジタルビデオディスク (DVD) に対しては、公知の位相差法により、「 $V_{36} + V_{39}$ 」、「 $V_{37} + V_{38}$ 」を位相比較することによって得られる。又、コンパクトディスク (CD) に対しては、公知の三ビーム法により、「 $V_{40} - V_{41}$ 」の演算から得られる。更に、ディスクの再生信号は、「 $V_{36} + V_{37} + V_{38} + V_{39}$ 」の演算から得ることができる。

【0171】〔光学系の他の例〕図 17 に、光学系 11 (又は 12) の他の構成を示す。

20 【0172】この図 17 に示す光学系は、追記型及び書換型のディスクに対して好適であり、一方の光学系 11 に用いることにより、基板厚さ 0.6 [mm] の書換型デジタルビデオディスク (DVD) の記録や再生に、又他方の光学系 12 に用いることにより、基板厚さ 1.2 [mm] の追記型コンパクトディスク (CD) の記録や再生に有効である。

【0173】半導体レーザ 11E から出射光は、回折格子 46 で透過光と  $\pm 1$  次回折光の三つの光に分けられ、それぞれコリメータレンズ 29 で平行光化され、光分離手段としての偏光ビームスプリッタ 47 に P 偏光として入射して全て透過し、 $1/4$  波長板 48 で直線偏光から円偏光に変換されてディスクに向かう。

【0174】ディスクで反射された三つの光は、それぞれ  $1/4$  波長板 48 で円偏光から直線偏光に変換され、偏光ビームスプリッタ 47 に S 偏光として入射して全て反射され、レンズ 33、円筒レンズ 34 を透過して光検出器 11F で受光される。ここで、回折格子 46 は必ずしも必要ではない。又、図 18 に光検出器 11F の構成を示す。

【0175】そして、往路の回折格子 46 の透過光は、四分割された光検出器 11F (図 18 参照) の受光部 50~53 上に光スポット 58 を形成し、往路の回折格子 46 の  $\pm 1$  次回折光は、それぞれ二分割された受光部 54, 55, 及び 56, 57 上に光スポット 59, 60 を形成する。

【0176】受光部 50~57 からの出力をそれぞれ  $V_{50} \sim V_{57}$  で表わすと、フォーカス誤差信号は公知の非点収差法により、「 $(V_{50} + V_{53}) - (V_{51} + V_{52})$ 」の演算から得られる。

【0177】トラック誤差信号は、書換型デジタルビデオディスクに対しては公知のプッシュプル法により、

$(V_{50} + V_{52}) - (V_{51} + V_{53})$  の演算から得られる。

【0178】追記型コンパクトディスクに対しては、公知の差動プッシュプル法により、 $(V_{50} + V_{52}) - (V_{51} + V_{53}) - K[(V_{54} + V_{56}) - (V_{55} + V_{57})]$  の演算から得られる。ここで、Kは定数を示す。又、ディスクの再生信号は、「 $V_{50} + V_{51} + V_{52} + V_{53}$ 」の演算から得られる。

【0179】図15及び図17に示す光学系11、12の各構成では、半導体レーザと光検出器は別々のパッケージに収納されている。

【0180】これに対し、小型化のために半導体レーザと光検出器を同一のパッケージに収納することも可能である。この場合、往路の光と復路の光の分離には、ビームスプリッタや偏光ビームスプリッタの代わりにホログラム光学素子や偏光性ホログラム光学素子を用いてもよい。

【0181】

【発明の効果】以上に述べたように、本発明によると、波長の異なる二つの半導体レーザと、波長選択位相板とを有し、一方の光学系から出力される所定の波長（例えば650[nm]）の光を用いて所定の厚さのディスク（例えばDVD）に対して記録や再生を行い、他方の光学系から出力される異なった所定の波長（例えば780[nm]）の光を用いて他の厚さのディスク（例えばCD）に対して記録や再生を行うように構成し、また、波長選択位相板については、一方の光学系から出力される所定の波長の光に対しては位相分布を変化させず、他方の光学系から出力される異なった所定の波長の光に対しては位相分布を変化させることにより、基板厚さの違いに伴う球面収差を補正するという手法を採用した。

【0182】このため、本発明では、一方と他方の各光学系から出力される波長の光が波長選択位相板を全て透過することとなり、これがため、従来の光ヘッド装置に比べ、再生時には良好なS/Nが得られ、記録時には十分な光出力が得られることとなった。

【0183】又、本発明においては、一方と他方の各光学系から出力される波長の光は対物レンズに平行光として入射するようにしたので、対物レンズが移動した場合にも収差を生じないこととなり、これがため、従来の光ヘッド装置に比べて、再生時には良好なジッタが得られ、同時に、記録時には十分なピーク強度が得られるという従来にない優れた効果を奏する光ヘッド装置を得ることができる。

【0184】又、本発明の光ヘッド装置においては、他方の光学系から出力されるレーザ光の波長を例えば780[nm]とすると、従来の光ヘッド装置では不可能であった追記型コンパクトディスクの再生も可能となるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態を示すブロック図で

ある。

【図2】図1の実施形態における波長選択位相板を用いない場合の波面収差の変化（特性）を示す線図である。

【図3】図1に示す第1の実施形態に用いる波長選択位相板を示す図で、図3(a)は平面図、図3(b)は図3(a)のA-A線に沿った断面図である。

【図4】図1の示す第1の実施形態において図3に示す波長選択位相板を用いた場合の波面収差の変化（特性）を示す線図である。

10 【図5】図4の特性図を得る場合に使用された図3の位相板パタンの配置を示す図表である。

【図6】図1に示す第1の実施形態に用いる波長選択位相板の他の例を示す図で、図6(a)は平面図、図6(b)は図6(a)のB-B線に沿った断面図である。

【図7】図1の示す第1の実施形態において図6に示す波長選択位相板を用いた場合の波面収差の変化（特性）を示す線図である。

【図8】図7の特性図を得る場合に使用された図6の位相板パタンの配置を示す図表である。

20 【図9】本発明の第2の実施の形態を示すブロック図である。

【図10】図9に示す第2の実施の形態における波長選択位相板を用いない場合の波面収差の変化（特性）を示す線図である。

【図11】図9に示す第2の実施の形態において図3に示す波長選択位相板を用いた場合の波面収差の変化（特性）を示す線図である。

30 【図12】図9に示す第2の実施の形態において図5に示す波長選択位相板を用いた場合の波面収差の変化（特性）を示す線図である。

【図13】図3及び図6に示す第1および第2の実施形態に用いる波長選択位相板の製造方法を示す図で、図13(a)は図3の位相板パターン部分の製造方法を示す説明図、図13(b)は図6の位相板パターン部分の製造方法を示す説明図、図13(c)は図6の波長選択位相板の製造方法を示す説明図である。

40 【図14】図3及び図6に示す第1および第2の実施形態に用いる波長選択位相板の他の製造方法を示す図で、図14(a)は図3の位相板パターン部分の製造方法を示す説明図、図14(b)は図6の位相板パターン部分の製造方法を示す説明図、図14(c)は図6の波長選択位相板の製造方法を示す説明図である。

【図15】図1及び図9に示す第1および第2の実施形態に用いる半導体レーザと光検出器を含む光学系の構成を示すブロック図である。

【図16】図15内に開示した光学系における光検出器の構成を示す説明図である。

【図17】図1及び図9に示す第1および第2の実施形態に用いる半導体レーザと光検出器を含む光学系の他の構成を示すブロック図である。

【図18】図17内に開示した光学系における光検出器の構成を示す説明図である。

【図19】従来例(1)の構成を示す説明図である。

【図20】図19における従来例(1)に用いられている波長選択プログラムを示す図で、図20(a)はその平面図、図20(b)は図20(a)のC-C線に沿った断面図である。

【図21】従来例(2)の構成を示す説明図である。

【図22】図21における従来例(2)に用いられている波長選択開口部材を示す図で、図22(a)はその平面図、図22(b)は図22(a)のD-D線に沿った断面図である。

【図23】従来例(3)に用いられる可変位相板を示す図で、図23(a)はその平面図、図23(b)は図23(a)のE-E線に沿った断面図である。

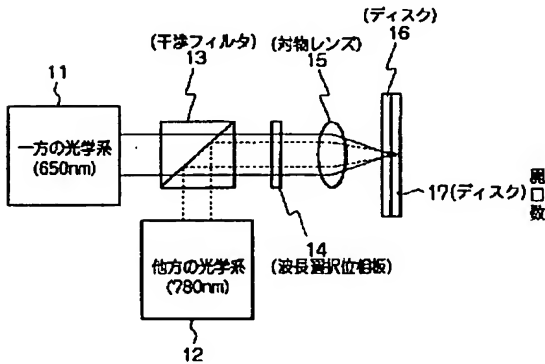
【図24】従来の光ヘッド装置の第三の例における波面収差の特性を示す説明図で、図24(a)は位相差を与えない場合の特性を示す線図、図24(b)は所定の位

相差を与えた場合の特性を示す線図である。

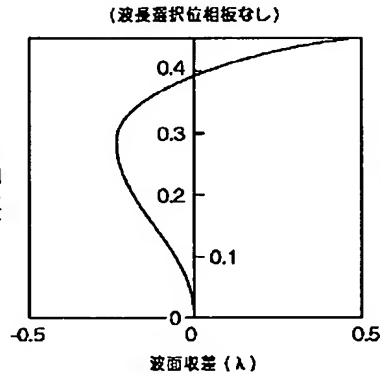
【符号の説明】

- 11 一方の光学系
- 11A, 11E 半導体レーザ(第1の半導体レーザ)
- 11B, 11F 光検出器(第1の光検出器)
- 12 他方の光学系
- 13 光合分波手段としての干渉フィルタ
- 14, 14A, 22, 24, 24A 波長選択位相板
- 15, 23 対物レンズ
- 16, 17 ディスク(光記録媒体)
- 18, 28 ガラス基板
- 19, 21, 31 位相板パターン
- 20 干渉フィルタパターン
- 29 コリメータレンズ
- 30, 46 回折格子
- 32 光分離手段としてのビームスプリッタ
- 47 光分離手段としての偏光ビームスプリッタ
- 48 1/4波長板

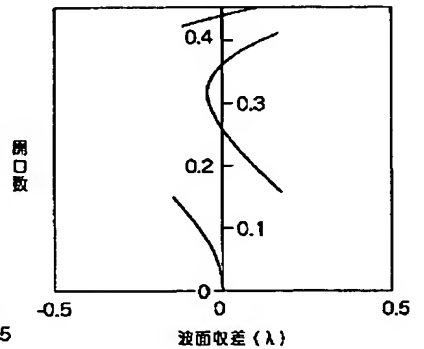
【図1】



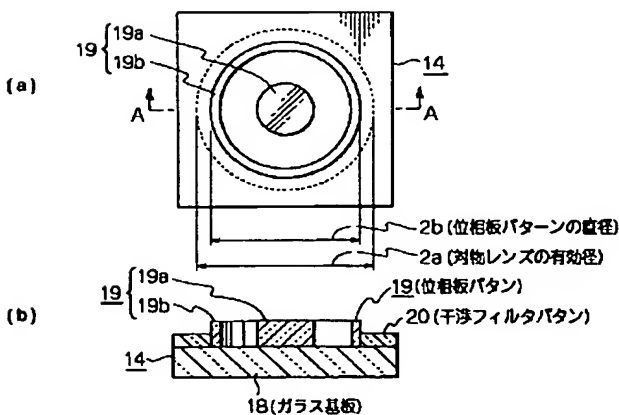
【図2】



【図4】



【図3】



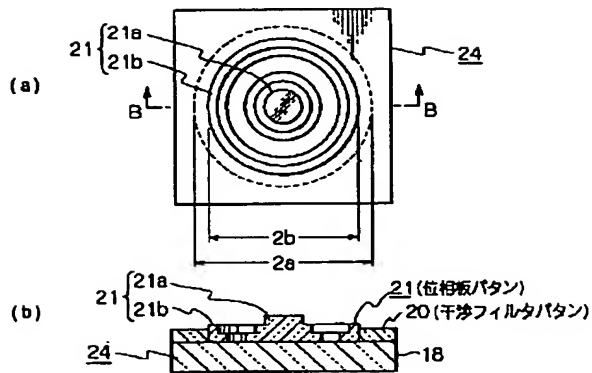
【図5】

(位相板パターン19の配置)

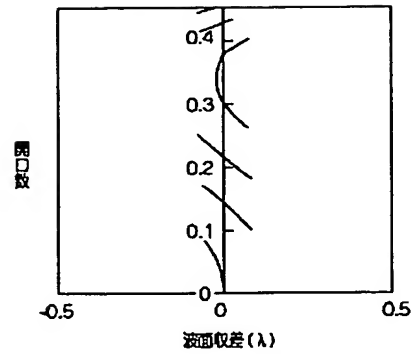
開口数	位相板パターン
0.00 ~ 0.15	あり
0.15 ~ 0.41	なし
0.41 ~ 0.45	あり



【図6】



【図7】

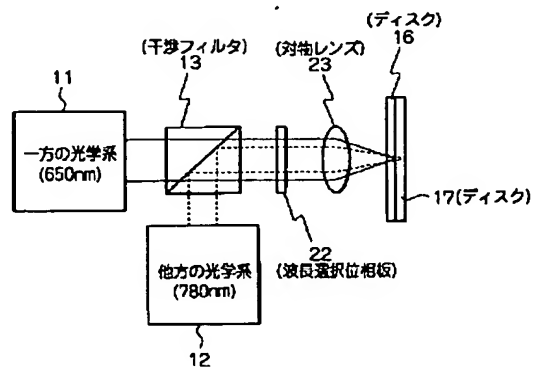


【図8】

(位相板パターン21の配置)

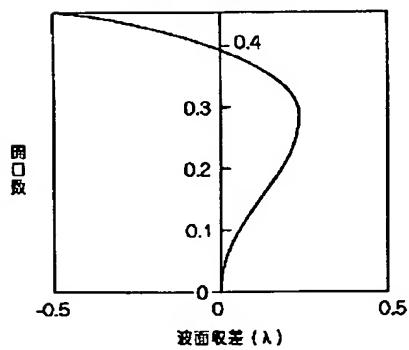
開口数	位相板パターン
0.00 ~ 0.09	3段
0.09 ~ 0.17	2段
0.17 ~ 0.25	1段
0.25 ~ 0.40	0段
0.40 ~ 0.43	1段
0.43 ~ 0.45	2段

【図9】

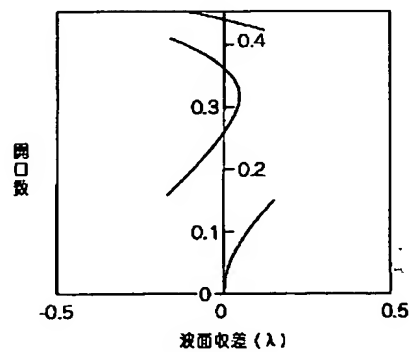


【図10】

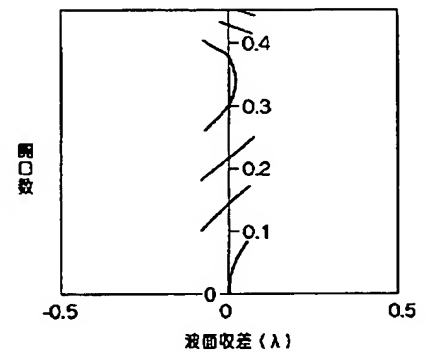
(波長選択位相板なし)



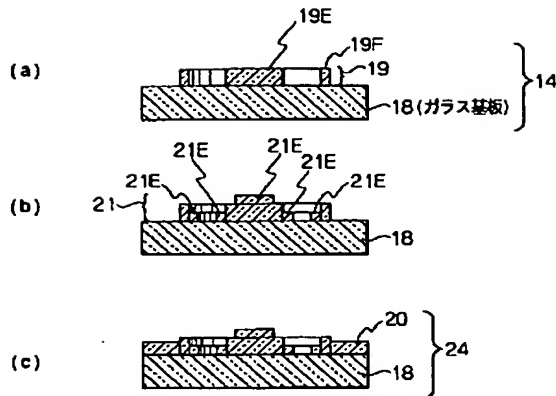
【図11】



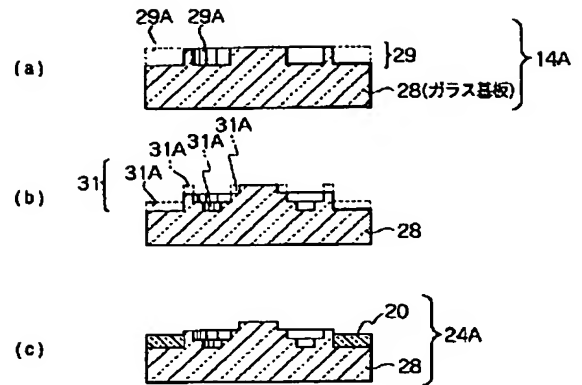
【図12】



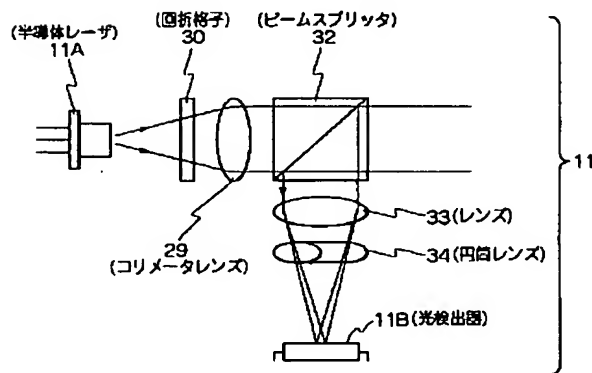
【図 13】



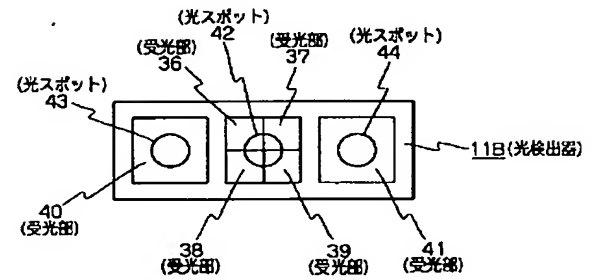
【図 14】



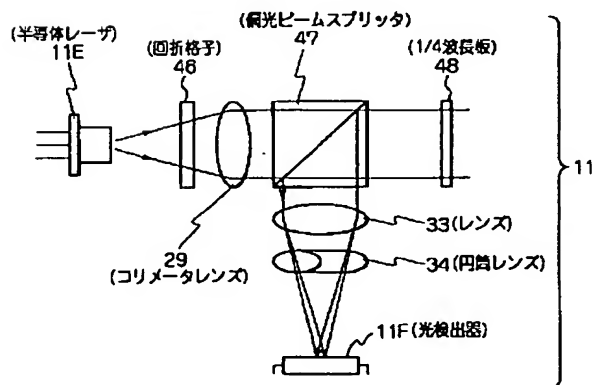
【図 15】



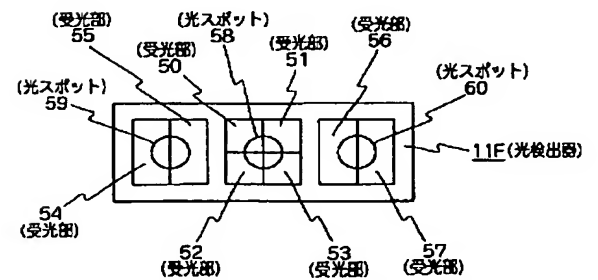
【図 16】



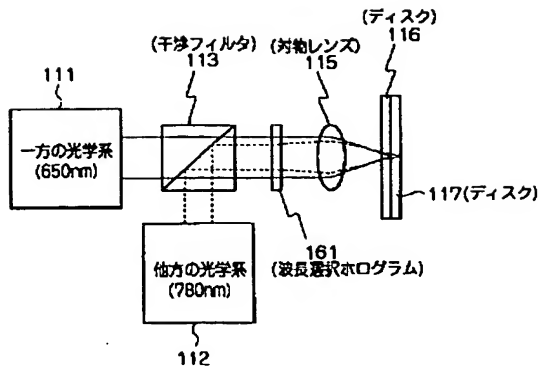
【図 17】



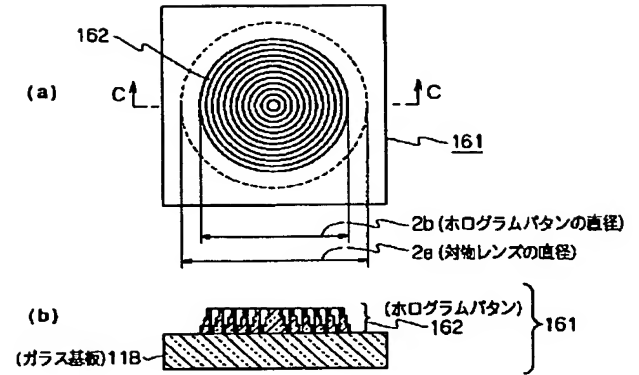
【図 18】



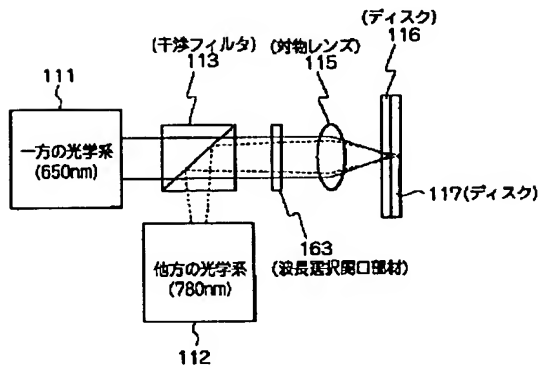
【図 19】



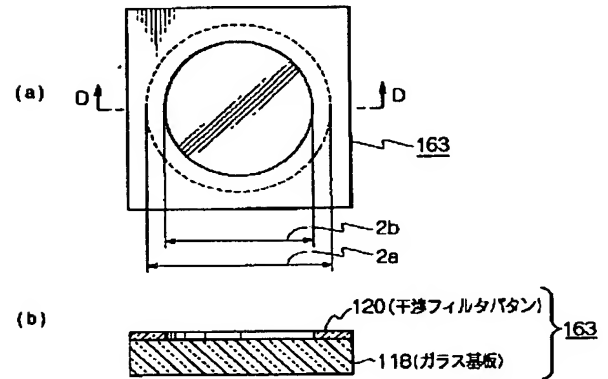
【図 20】



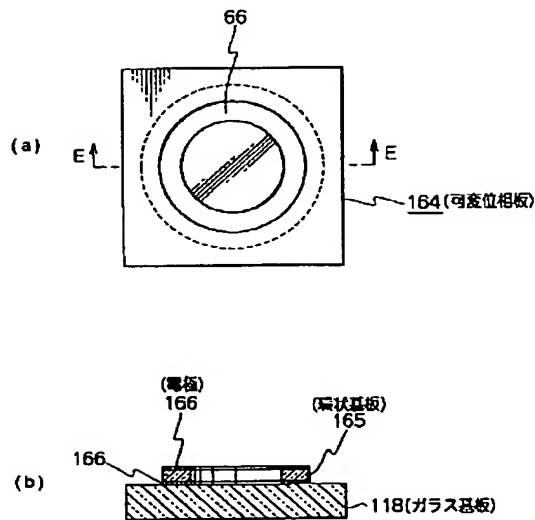
【図 21】



【図 22】



【図 23】



【図24】

